

# 受限空间条件下斜拉桥前支点挂篮设计与安装关键技术

——以景洪市神秘谷澜沧江大桥为例

张平

(云南省铁路集团有限公司, 昆明 650118; 中南林业科技大学 土木工程学院, 长沙 410004)

**摘要:**前支点牵索挂篮在大跨径PC(预应力混凝土)斜拉桥中得到广泛应用,但在山区空间受限的条件下难以进行拼装就位并与索塔、主梁及斜拉索互相干扰的问题较为突出。为解决神秘谷澜沧江大桥遇到的相关问题,通过采用结构适应性优化、有限元仿真分析等方法,对挂篮的结构设计及安装方法进行相关研究。结果表明,异型挂篮构造与挂篮拼装及主梁1#段现浇共用支架的方案场地适应性强,施工质量、安全、进度有保证,在山区PC斜拉桥施工中具有广泛推广价值。

**关键词:**受限空间;前支点挂篮;仿真设计;安装

**中图分类号:**U448.27 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)02-0276-11

挂篮悬浇是大跨径预应力混凝土(prestressed concrete, PC)斜拉桥主梁施工工艺流程中最关键的工序,而长平台前支点牵索挂篮是该工序最主要的工装设备。长平台前支点牵索挂篮结构复杂,索塔、主梁、斜拉索共同受力,挂篮设计及安装方案受大桥设计构造、桥址所在地场地环境、工期要求等众多因素影响。具体而言,长平台前支点牵索挂篮结构较长,挂篮安装前需进行一定数量的主梁初始节段的支架现浇施工,方可解决挂篮就位时与索塔、主梁及斜拉索之间的互相干扰问题。而主梁初始支架现浇节段的数量及支架的安装、拆除方式及工程量又直接与施工场地条件及挂篮的设计构造及安装方式紧密相关,并直接影响工程施工工期、成本、安全和质量。

目前,类似于陈闯等<sup>[1]</sup>对连续刚构桥挂篮的相关研究较多,而前支点牵索挂篮的研究相对较少,且在施工场地条件具备时,长平台前支点牵索挂篮大部分采用地面拼装、横向(或纵向)滑移、整体提升就位的方式进行安装,该方案挂篮安装高度一般不大于60 m,且进行较多主梁初始现浇节段施工。场地要求高、工期较长、支架及基础费用较高。如韦

剑等<sup>[2]</sup>基于Kriging改进响应面对前支点牵索的挂篮可靠度进行分析,吴明威等<sup>[3]</sup>通过益阳资江大桥前支点挂篮安装的实际经验,对国内同类型挂篮的安装进行的相关对比研究,周翔海等<sup>[4]</sup>、卢玉荣等<sup>[5]</sup>对武汉四环线汉江特大桥及海华大桥超宽超重牵索挂篮设计、拼装、整体滑移、整体提升等技术进行的相关研究;而在现场不具备拼装场地的条件下,采用在墩侧托架上搭设支架的方式进行初始现浇节段的施工,之后拆除现浇支架,挂篮则在主梁底部的托架上进行高空散拼,散拼完毕之后再整体提升就位。该方案在挂篮安装前也需进行较多主梁初始现浇节段的施工,支架安拆及挂篮安装也占用较多关键线路工期,施工场地要求不高,但是在主梁底部进行挂篮散拼时大部分挂篮杆件不能吊装就位,需进行大量二次横向滑移、提升、接长等工作。施工效率大幅降低、工期大幅增长、安全风险和施工费用也大幅增大。如刘运红<sup>[6]</sup>、张会昌等<sup>[7]</sup>对汝郴高速赤石特大桥及重庆市奉节县梅溪湖特大桥挂篮高空托架拼装技术进行的相关研究。

本文通过对国内常用的前支点挂篮设计及安装方案进行研究对比,结合景洪市神秘谷澜沧江大

**收稿日期:**2022-08-21

**作者简介:**张平(1985—),男,湖南浏阳人,云南省铁路集团有限公司,副总工程师,高级工程师,硕士研究生,研究方向为桥梁工程施工技术。

桥在传统前支点挂篮难以就位,现场不具备挂篮地面拼装、滑移及提升条件,主梁初始节段现浇支架难以搭设的实际情况。对空间极为受限条件下长平台前支点牵索挂篮的设计及安装过程中应考虑的关键技术进行优化研究,并进行有限元仿真分析。提出在空间受限条件下及最少主梁初始现浇节段的工况下,山区大跨径 PC 斜拉桥长平台前支点牵索挂篮的设计及一次性安装的新思路。

## 1 工程概况

云南省景洪市神秘谷澜沧江大桥主桥为半漂浮体系的双塔双索面斜拉桥,桥址位于澜沧江陡峭河谷与既有公路之间的狭长地带。主桥跨径布置为(32+85+300+85+32)m,钻石型构造的索塔高度 146.872 m,主梁至承台顶面高度约 27.8 m,主梁底面与索塔横梁顶面的净空为 1.3 m。主桥桥型布置图如图 1 所示。

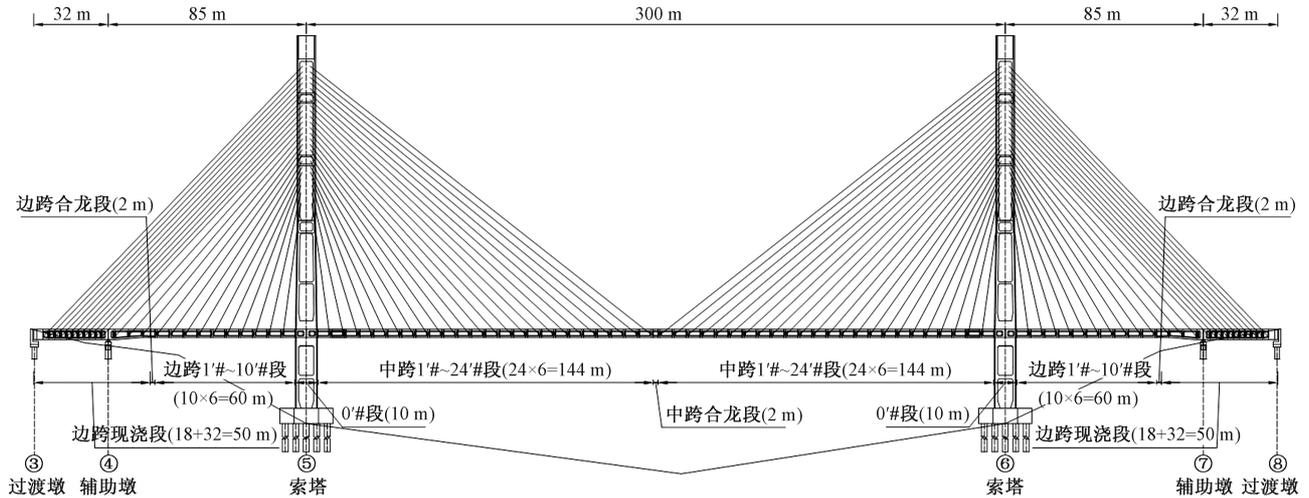


图 1 桥型布置图

大桥索塔顺桥向宽度为 9.5 m,主梁 0#段长度 10 m,主梁 0#段悬臂长度为 25 cm,中跨 1#~24#段及边跨 1'~10'段长度均为 6 m,梁高为 3.2 m,梁宽为 39.1 m,主梁 0#~3#及 0'~3'段为单箱四室构造,4#~5#及 4'~5'段为单箱四室渐变为双边箱梁构造,9'~10'段为双边箱梁渐变为单箱四室构造。每个主梁节段端部设置有一道端横梁,斜拉索锚固于端横梁上,其厚度为 60~80 cm,高度为 3.2 m。最大悬浇节段重量为 932.5 t,主梁采用 C60 混凝土浇筑。主梁及端横梁构造如图 2、图 3 所示。

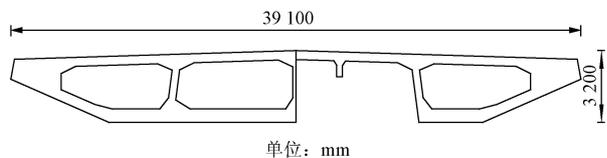


图 2 主梁横截面构造图

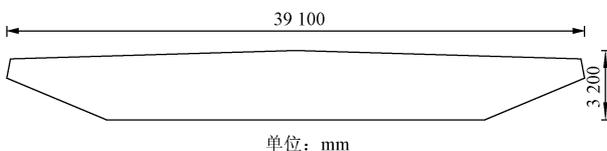


图 3 主梁端横梁截面构造图

## 2 挂篮设计及安装方案比选

经研究国内目前成功实施的 5 种不同的长平台前支点牵索挂篮设计及安装案例,并结合景洪市神秘谷澜沧江大桥的牵索挂篮方案,共计对 6 种前支点挂篮方案进行对比研究,相关比选情况如下。

### 2.1 方案 1

1)适用范围:索塔无下横梁(或下横梁不影响挂篮整体提升)、桥面高度一般不大于 60 m,现场具备支架搭设、大型设备就位、挂篮拼装及滑移的场地条件。

2)挂篮设计方案:传统长平台前支点牵索挂篮方案。

3)挂篮安装方案:采用支架法首先进行主梁 1#~3#段的施工,之后拆除支架,在索塔大小里程侧(或侧面)进行挂篮的异地拼装作业,再通过轨道滑移至已施工完毕的主梁底部,最后采用卷扬机或连续千斤顶整体提升就位。

4)使用案例:武汉四环线汉江特大桥(77+100+360+100+77)m,相关方案如图 4 所示。

5)优缺点分析:①支架现浇、挂篮拼装与索塔施工可以同步进行,节约工期,但支架拆除及挂篮提升影响施工工期;②主梁支架现浇梁段多、支架

工程量大、施工成本高;③可避免挂篮就位时与索塔、斜拉索等构件之间的互相干扰;④场地要求较

高,施工现场需具备支架搭设、挂篮地面拼装及滑移、大型吊装设备就位的场地。

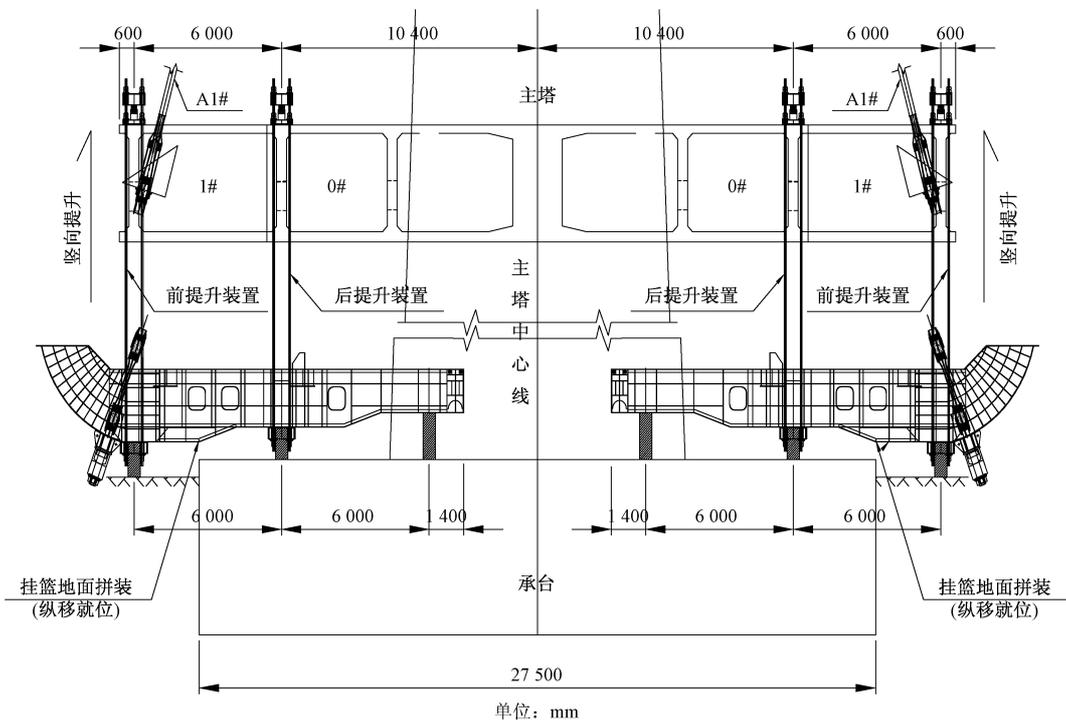


图 4 武汉四环线汉江特大桥挂篮方案图

## 2.2 方案 2

1)适用范围:索塔无下横梁(或下横梁不影响挂篮整体提升)、桥面高度一般不大于 60 m,现场具备支架搭设、大型设备就位、挂篮拼装及滑移的场地条件。

2)挂篮设计方案:传统长平台前支点牵索挂篮方案。

3)挂篮安装方案:采用支架法首先进行主梁 1#~2#段的施工,之后拆除支架,在主梁底部的地面上原位拼装挂篮(也可采用异地拼装后平移至此),最后在已施工主梁节段上安装提升架,通过卷扬机或连续千斤顶整体提升后纵向滑移就位。

4)使用案例:山西侯禹高速公路禹门口黄河大桥(174+352+174)m,相关方案如图 5 所示。

5)优缺点分析:①支架现浇、挂篮拼装与索塔施工可以同步进行,节约工期,但是支架安装及拆除占用关键线路时间,大幅影响施工工期;②支架现浇梁段较多、支架工程量较大、施工成本较高;③采用提升架可适当减少现浇梁段数量,进而适当减少支架工程数量,降低施工成本,同时可避免挂篮提升就位时与索塔、斜拉索等构件之间的互相干扰;④场地要求较高,施工现场需具备支架搭设、挂

篮地面拼装及滑移、大型吊装设备就位的场地。

## 2.3 方案 3

1)适用范围:索塔横梁及斜拉索与挂篮干扰,桥面高度一般大于 60 m,现场不具备支架搭设、大型设备就位、挂篮拼装及滑移的场地条件。

2)挂篮设计方案:传统长平台前支点牵索挂篮方案。

3)挂篮安装方案:采用墩侧托架进行挂篮前半部分的高空散拼,并在挂篮上进行主梁 0#及 1#段的施工,之后在墩侧托架上安装滑道使挂篮向前滑移,最后在高空安装挂篮的后半部分。

4)使用案例:汝郴高速赤石大桥(120+216+120)m,相关方案如图 6 所示。

5)优缺点分析:①墩侧托架、挂篮拼装可与索塔同步施工,节约工期;②托架工程量较小,节约成本;③不可避免挂篮就位时与索塔、斜拉索等构件之间的互相干扰,挂篮不能一次安装就位,须在高空进行滑移及二次接长安装,施工风险较大,工期加长;④高空仅能进行挂篮的散拼,不能整体吊装,对起重设备要求较高,且工期加长;⑤场地要求低,施工现场无须具备支架搭设、挂篮地面拼装及滑移、大型吊装设备就位的场地。

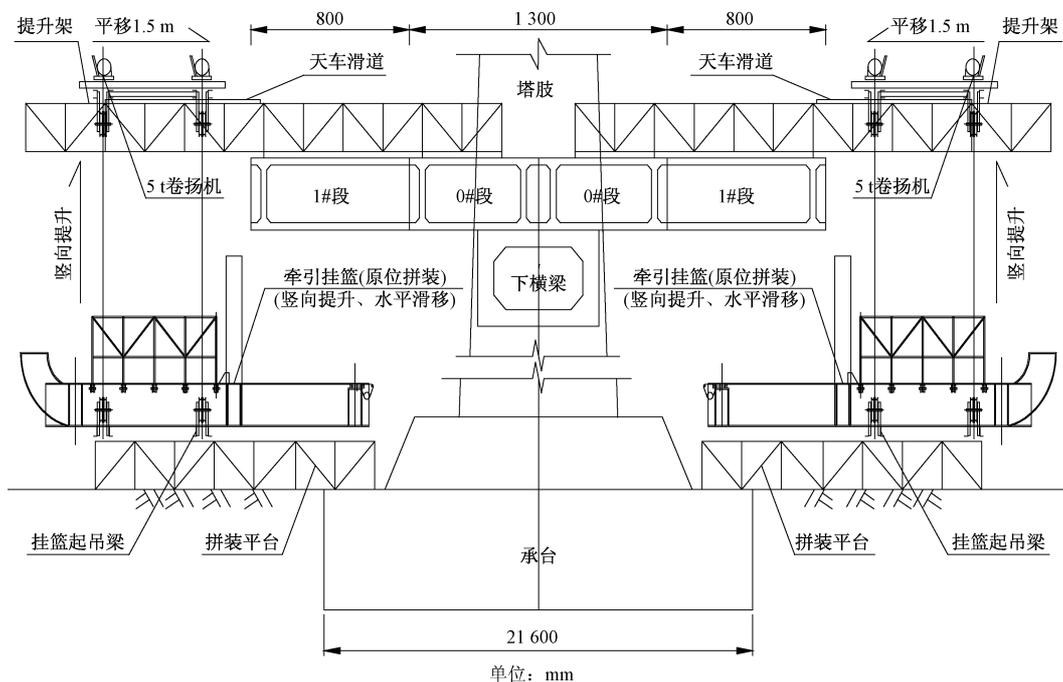


图5 山西侯禹高速公路禹门口黄河大桥挂篮方案图

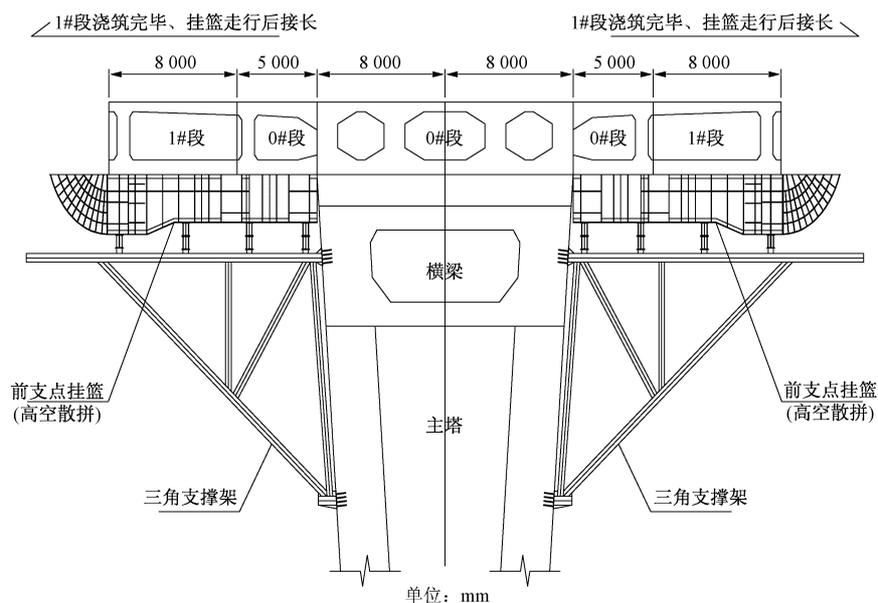


图6 汝郴高速赤石大桥挂篮方案图

## 2.4 方案4

1) 适用范围: 桥面高度一般不大于40 m, 现场具备支架搭设、大型设备就位、挂篮拼装的场地条件。

2) 挂篮设计方案: 传统长平台前支点牵索挂篮方案。

3) 挂篮安装方案: 在主梁1#~3#段范围内搭设支架, 后在支架顶部散拼挂篮, 最后在挂篮上进行主梁1#~3#段的施工, 并实现挂篮的一次性就位。

4) 使用案例: 五河口特大桥为(152+370+152)m, 相关方案如图7所示。

5) 优缺点分析: ① 支架现浇、挂篮拼装与索塔施工可以同步进行, 节约工期; ② 支架纵向现浇梁段较多、支架工程量较大<sup>[3]</sup>、施工成本较高; ③ 大量的支架现浇段可避免挂篮就位时与索塔、斜拉索等构件之间的互相干扰, 挂篮可以一次安装就位; ④ 场地要求较高, 施工现场需具备大量支架搭设、大型吊装设备就位的场地。

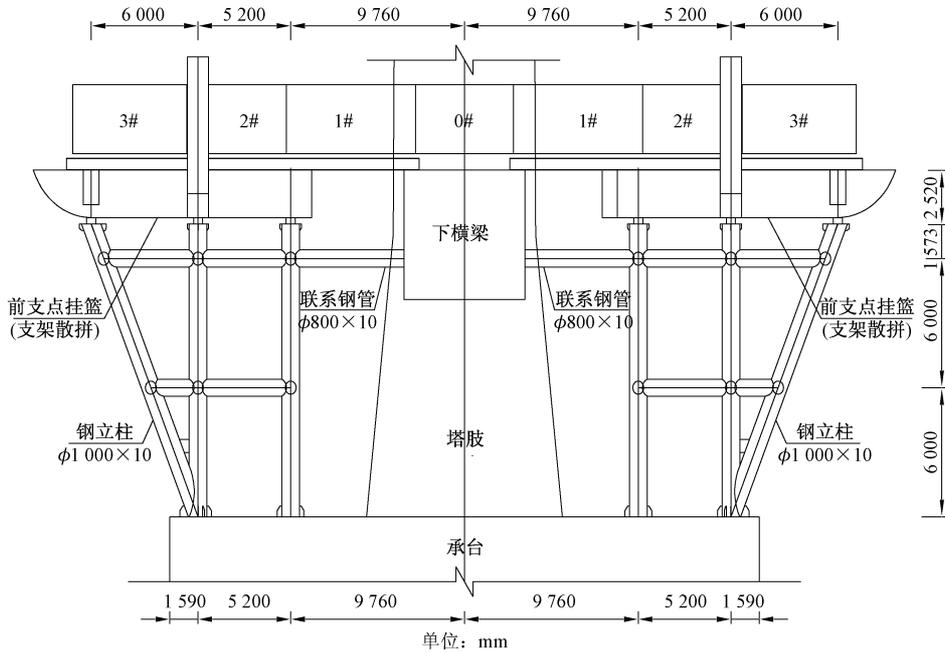


图 7 五河口特大桥挂篮方案图

### 2.5 方案 5

1)适用范围:桥面高度一般不大于 60 m,现场不具备支架搭设、大型设备就位、挂篮拼装及滑移的场地条件。

2)挂篮设计方案:传统长平台前支点牵索挂篮方案。

3)挂篮安装方案:采用墩侧落地支架(或托架)

+满堂支架进行主梁 0# 及 1# 段的施工,之后拆除满堂支架<sup>[1]</sup>,在墩侧落地支架(或托架)进行挂篮的散拼,散拼完毕后在主梁已施工梁段上安装提升架,最后将挂篮整体提升就位。

4)使用案例:益阳资江大桥(125+280+150) m,

相关方案如图 8 所示。

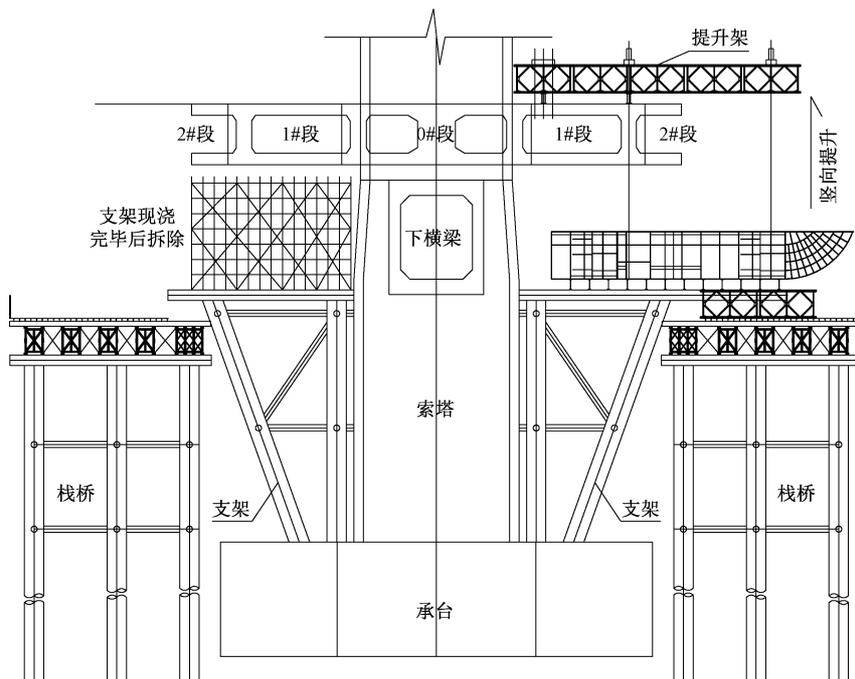


图 8 益阳资江大桥挂篮方案图

5)优缺点分析:①满堂支架的安装、拆除以及挂篮安装占用施工总工期,工期较长;②支架工程量较大、施工成本较高;③支架+提升架的方案构造复杂、施工较为困难,但是可避免挂篮就位时与索塔、斜拉索等构件之间的互相干扰;④场地要求较高,施工现场需具备支架搭设、挂篮支架散拼及滑移、大型吊装设备就位的场地。

## 2.6 方案6

1)适用范围:桥面高度一般不大于60 m,现场不

具备支架搭设、大型设备就位、挂篮拼装的场地条件。

2)挂篮设计方案:异型长平台前支点牵索挂篮方案。

3)挂篮安装方案:挂篮拼装与主梁1#段现浇共用支架,支架采用斜向钢管支撑在承台上,后在支架顶部散拼挂篮,最后在挂篮上进行主梁1#段的施工<sup>[3]</sup>,并同时实现挂篮在主梁2#段的就位。

4)使用案例:景洪市神秘谷澜沧江大桥(32+85+300+85+32) m,相关方案如图9所示。

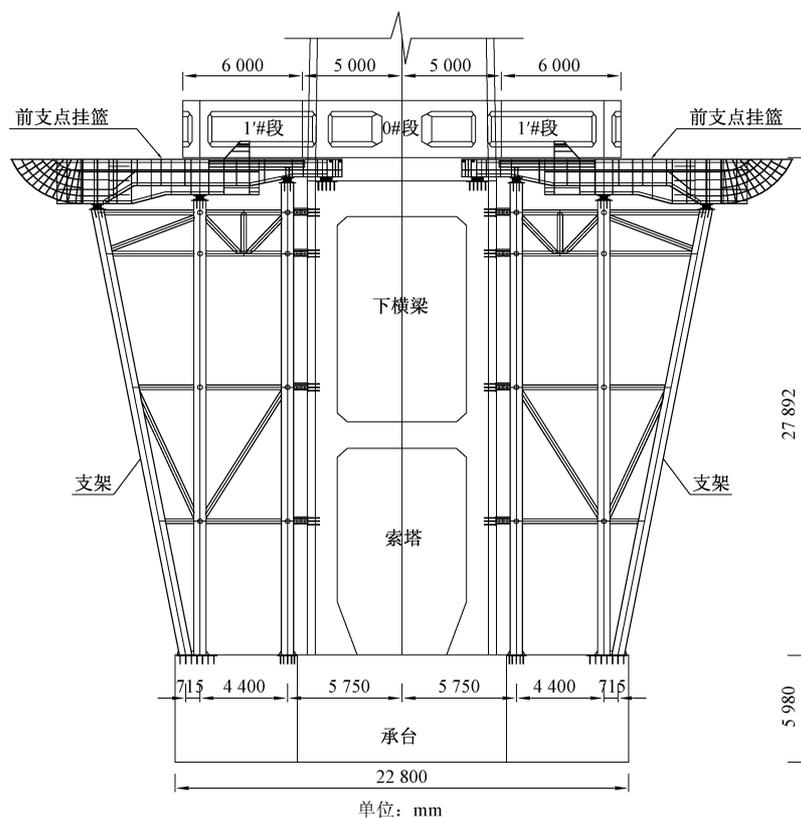


图9 神秘谷澜沧江大桥挂篮方案图

5)优缺点分析:①支架现浇、挂篮拼装与索塔施工可以同步进行,节约工期;②支架纵向现浇梁段较少、支架工程量小、施工成本低;③异型构造的前支点挂篮可避免挂篮在主梁2#段就位时与索塔、斜拉索等构件之间的互相干扰;④场地要求较低,施工现场无须具备大量支架搭设的场地;⑤挂篮在支架顶部散拼完毕后也直接就位,无须二次接长拼装、滑移或提升,支架也无须二次安装和拆除,安全风险及施工成本大幅降低,施工进度大幅加快。

## 2.7 方案比选结论

经对比分析可知方案6的工期、成本优势明显,选择方案6进行神秘谷澜沧江大桥前支点挂篮的设计及安装施工。

## 3 关键技术

### 3.1 挂篮设计关键技术

长平台前支点牵索挂篮由承载平台、张拉机构、牵索系统、行走系统、定位系统、锚固系统、模板系统、操作平台及预埋件系统等组成。结合大桥设计图纸及现场施工条件进行设计的关键技术如下。

#### 3.1.1 挂篮结构长度大于主梁初始支架现浇节段长度,挂篮与索塔冲突的处理

长平台前支点牵索挂篮的长度为16.65 m,主梁支架现浇完成1#段后,主梁悬臂长度仅为6.25 m(其中1#段长度为6.0 m,0#段悬臂长度为0.25 m),挂篮在2#段就位的工况下,无法一次性安装就位。为此通过两次变截面减少挂篮次纵

梁高度使其能深入到主梁 0# 段底部与索塔横梁顶面之间的 1.3 m 空隙,以减少主梁支架现浇初始节段的数量(仅主梁 1# 段采用支架现浇)。避免了挂篮由于结构长度过长而与索塔产生干扰的情况发生无需进行挂篮二次滑移、提升、接长拼装等工序。挂篮结构长度大于主梁初始支架现浇节段长度,挂篮与索塔冲突的处理。

### 3.1.2 挂篮在主梁 2# 节段就位时斜拉索索力转换装置与 2# 斜拉索锚固位置及角度无法匹配的处理

挂篮在主梁 2# 节段就位时,受 2# 斜拉索大角

度(76°)影响,索力转换装置与挂篮弧形首冲突,无法实现挂篮的主梁 2# 节段就位时 2# 斜拉索的施工作业。且挂篮前横梁与弧形首连接处的刚度及稳定性不能满足要求。为此经过分析计算将挂篮弧形首向挂篮尾部后移、挂篮前横梁与弧形首根部的主纵梁设置成斜交构造,既满足挂篮在主梁 2# 段的 2# 斜拉索处的角度及位置要求,也确保了挂篮前横梁与主纵梁作为主要受力构件连接的稳定、可靠。

挂篮三维构造图如图 10 所示,挂篮设计关键技术的处理如图 11 所示。

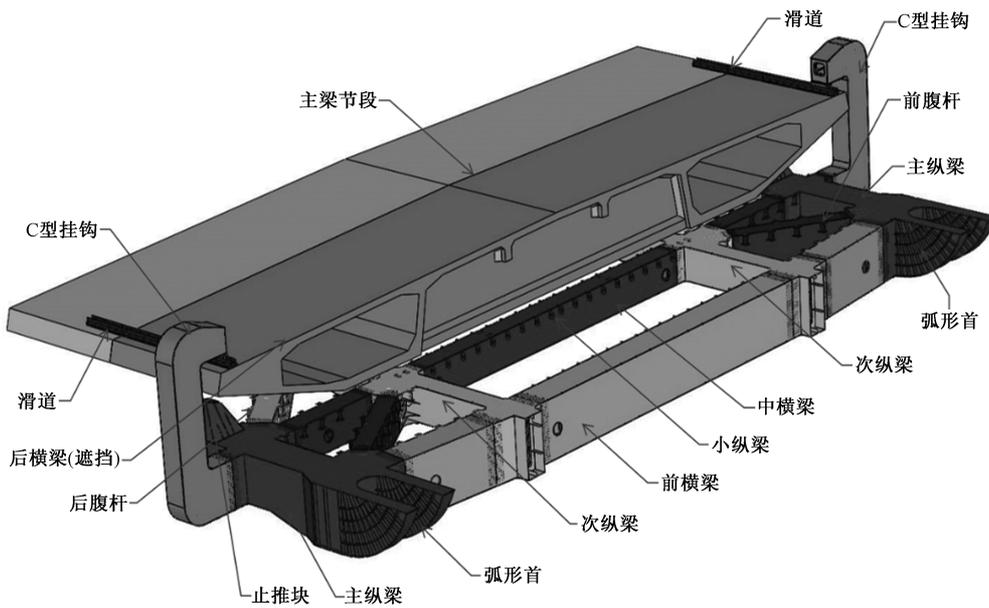


图 10 挂篮总体构造

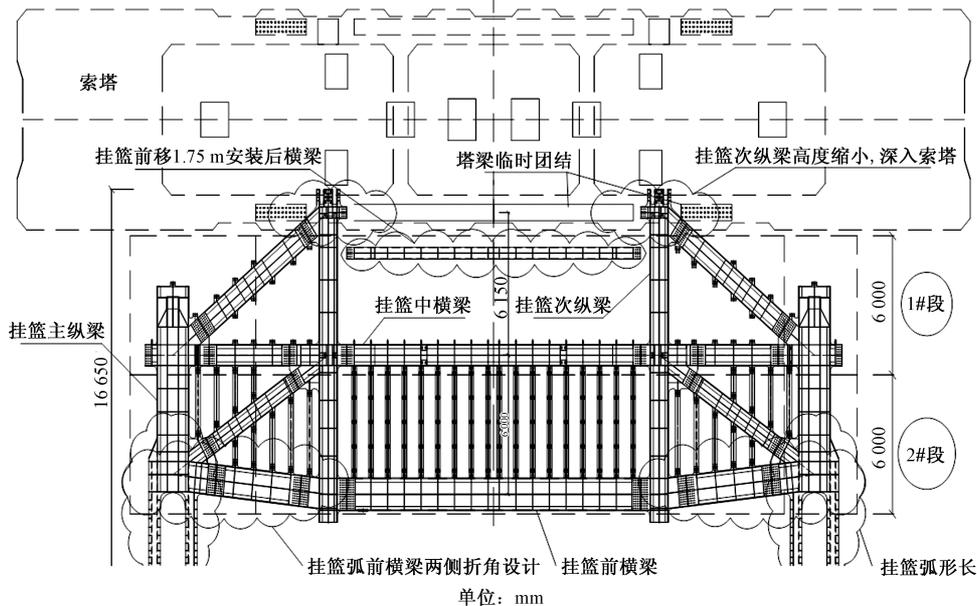


图 11 挂篮关键技术优化示意图

### 3.2 挂篮安装关键技术

#### 3.2.1 场地不具备挂篮地面拼装、滑移及整体提升,大型吊装设备就位条件的处理

经现场调查研究,神秘谷澜沧江大桥桥址位于澜沧江陡峭河谷与既有公路之间的狭长地带,场地极为受限。挂篮无法在地面进行散拼后通过纵移或横移的方式进行就位,大型吊装设备也无法就位进行施工作业,进而选择搭设支架的方式进行散拼。该方案无需大量地面拼装及滑移的场地,同时挂篮拼装可以利用索塔施工的大型塔吊进行施工,无需单独配置大型吊装设备,具有较强的场地适应性和经济性。

#### 3.2.2 现场主梁 2#~3# 节段现浇支架搭设工程量过大、风险过高的处理

大桥主梁 1# 节段位于承台上部,但 2#~3# 节段已深入到澜沧江及既有国道的通行范围,大型设备也无法就位进行施工,支架也难以搭设。为此采用前述经优化设计的异型挂篮,并采用挂篮拼装与主梁 1# 段现浇共用支架的方案进行施工,支架采用斜向钢管支撑在承台顶面,以避免支架及支架基础工程量过大、施工难度过高等问题,挂篮在支架顶部散拼完毕后,直接在支架顶部就位,无需进行二次接长拼装、滑移、提升等工序。同时挂篮杆件设置在支架顶部也作为主梁 1# 段现浇的主要受力构件,可以大幅减少支架的工程数量。

现场施工条件及挂篮支架法安装情况如图 12 所示,挂篮安装方案如图 9 所示。



图 12 挂篮现场安装

## 4 仿真分析

### 4.1 挂篮设计仿真分析

#### 4.1.1 仿真分析方案概述

挂篮节段浇筑长度均为 6.0 m,挂篮自重约 380 t,采用 Q345B 钢材制作。因斜拉索角度处于

一直变化之中,因此选取施工 2#、24# 段(即斜拉索角最大、最小节段,混凝土自重荷载最大、最小节段)对挂篮采用大型有限元软件 Midas Civil 分浇注和走形两种工况进行整体建模仿真分析。

#### 4.1.2 仿真计算荷载

1)混凝土荷载: $q_1 = V \times 26 \text{ kN/m}^3 \times (1 + 0.05)$  ( $V$  为主梁荷载最大节段混凝土体积,单位为  $\text{m}^3$ ,考虑混凝土 5% 超重)。

2)模板(内模、侧模及桁架、底模)荷载: $q_2$ 。

3)施工作业荷载及混凝土倾倒荷载: $q_3 = 2.0 + 2.5 = 4.5 \text{ kN/m}^2$ 。

4)挂篮自重荷载: $q_4$  (自动计入)<sup>[8]</sup>。

5)第一次索力: $q_5$ 。

6)第二次索力: $q_6$ 。

#### 4.1.3 仿真计算工况

根据施工要求挂篮主结构的计算分为 6 个工况<sup>[8]</sup>。

工况 1:挂篮安装就位,第一次调整索力为  $q_2 + q_3 + q_4 + q_5$ 。

工况 2:浇注 50% 的混凝土为  $0.5q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5$ 。

工况 3:第二次调整索力为  $0.5q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_6$ 。

工况 4:浇注 100% 的混凝土为  $q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_6$ 。

工况 5:挂篮下放为  $q_2 + q_4$ 。

工况 6:挂篮走行为  $q_2 + q_4$ 。

#### 4.1.4 仿真计算模型

挂篮主要杆件均采用梁单元进行模拟<sup>[9-10]</sup>,主纵梁弧形首及前横梁、前斜杆受力较为复杂,采用 Midas Fea 进行实体精确建模分析,仿真分析模型如图 13、图 14 所示,应力仿真分析计算结果如图 15、图 16 所示。

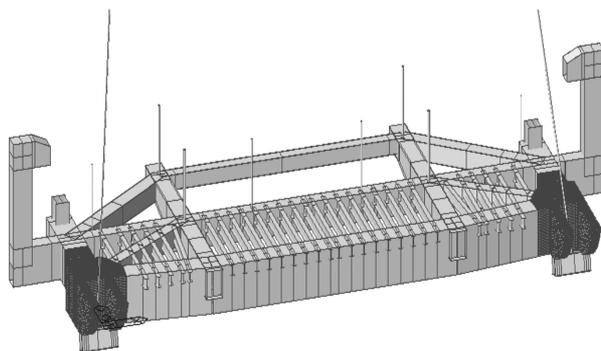


图 13 挂篮浇注工况仿真模型

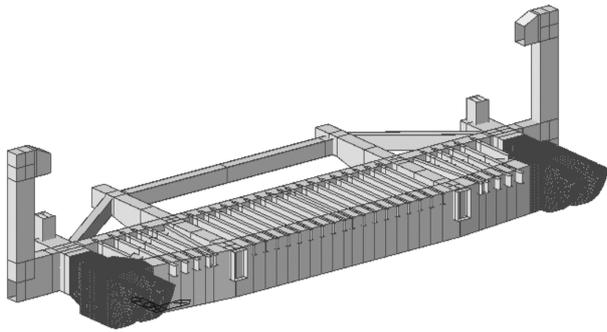


图 14 挂篮走行工况仿真模型

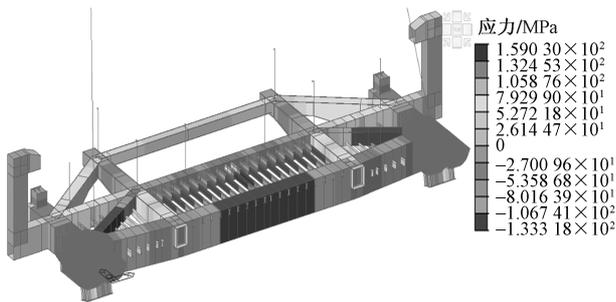


图 15 挂篮浇筑工况仿真结果

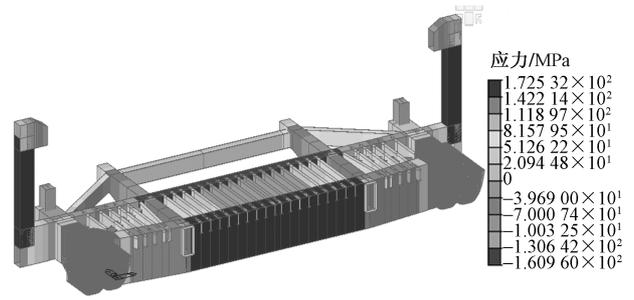


图 16 挂篮走行工况仿真结果

#### 4.1.5 仿真计算结果

根据建模分析计算可知,挂篮走行及悬臂浇筑工况下的应力、位移、稳定性及吊杆反力均满足要求,相关仿真分析计算结果见表 1。

### 4.2 挂篮安装仿真分析

#### 4.2.1 仿真分析方案概述

挂篮拼装支架及主梁 1# 块现浇支架为共用支架,挂篮直接在承台顶面上的  $630 \times 10$  mm 钢管立柱顶面进行安装,立柱之间采用 4 道  $\phi 273 \times 8$  mm 钢管作为连接系与索塔相连,增加支架的稳定性。

表 1 挂篮仿真分析计算结果

计算部位、工况及工序	主纵梁		横梁		次纵梁		斜杆	反力/kN			
	应力/MPa	位移/mm	应力/MPa	位移/mm	应力/MPa	位移/mm	应力/MPa	中吊挂合力	后吊挂	剪力键	
2# 节段 施工	一次调索	82.0	32.7	38.6	25.0	107.0	23.4	82.8	-2 360	1 460	560
	一次浇筑	45.0	14.2	66.0	-15.0	53.0	-7.5	64.5	1 720	-70	690
	二次调索	113.0	56.4	97.2	30.0	116.0	27.2	162.9	-2 480	1 920	1 240
	二次浇筑	88.7	25.9	125	-29.0	93.3	-13.4	122.3	3 050	-150	1 450
24# 节段 施工	一次调索	61.0	15.0	16.0	2.7	24.0	6.2	26.0	-440	410	1 790
	一次浇筑	54.0	-9.8	24.0	-17.5	90.0	-17.0	39.0	2 960	-720	1 860
	二次调索	113.0	19.4	26.0	11.2	36.0	7.3	63.0	-1 580	90	3 390
	二次浇筑	102.4	-8.3	61.2	-26.5	126.5	-22.0	73.7	3 730	-970	3 470

#### 4.2.2 仿真计算荷载

1) 混凝土荷载:  $q_1 = V \times 26 \text{ kN/m}^3 \times (1 + 0.05)$  (考虑混凝土 5% 超重)。

2) 模板(内模、侧模及桁架、底模)荷载:  $q_2$ , 按实际重量加载于纵横梁上。

3) 施工作业荷载及混凝土倾倒荷载:  $q_3 = 2.0 + 2.5 = 4.5 \text{ kN/m}^2$ 。

4) 挂篮及支架自重荷载:  $q_4$  (自动计入)。

#### 4.2.3 仿真计算工况

仿真计算工况为挂篮的浇筑工况,其荷载组合按照  $(q_1 + q_2 + q_4) \times 130\% + q_3 \times 150\%$  进行计算。

#### 4.2.4 仿真计算模型

挂篮拼装及 1# 段现浇支架受力分析采用大型有限元计算软件 Midas Civil 进行,主要杆件均采用梁单元建模<sup>[12-14]</sup>,相关计算模型如图 17 所示。

#### 4.2.5 仿真计算结果

根据建模分析计算可知,支架最大组合应力为  $135.1 \text{ MPa} < Q235B$  钢容许应力  $190 \text{ MPa}$ <sup>[15-16]</sup>,挂篮杆件最大组合应力为  $113.2 \text{ MPa} < Q345B$  钢容许应力  $275 \text{ MPa}$  (此处参照《公路钢结构桥梁设计规范》进行取值),稳定系数  $= 54.6 > 4$ ,可知结构受力及稳定性均满足要求。应力仿真分析结果如图 18 所示。

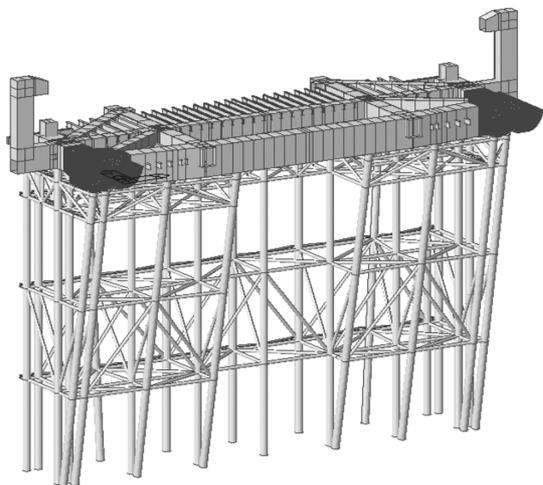


图 17 挂篮安装及主梁 1# 段现浇仿真模型

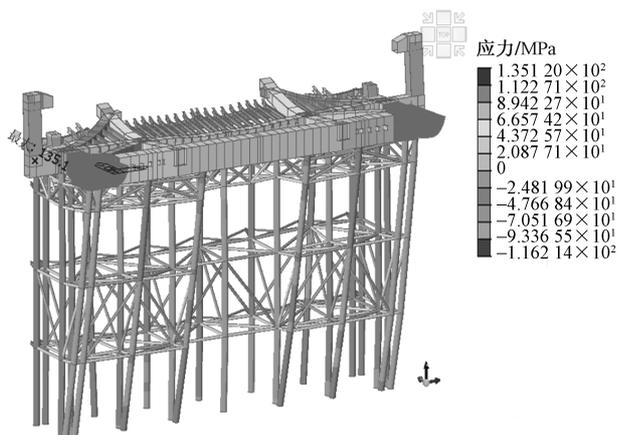


图 18 挂篮安装及主梁 1# 段现浇组合应力

## 5 结论

1) 挂篮的设计需根据索塔、主梁、斜拉索的构造进行,避免挂篮与大桥主体构造的相互干扰而导致无法就位或斜拉索无法安装的情况发生,同时挂篮设计时应尽量减少支架法现浇主梁初始节段的数量,以提高挂篮的利用率并大幅减少现浇支架的数量。而采用本项目所使用的的异型构造的前支点牵索挂篮方案,能有效解决传统前支点挂篮因挂篮长度过长,与索塔冲突的问题,也实现了传统前支点挂篮在主梁 2# 节段无法实现的挂篮悬浇施工,避免了与 2# 斜拉索锚固位置及角度无法进行匹配的问题,具有广泛的适用前景。

2) 挂篮安装宜与索塔施工同步进行,同时安装过程中应尽量减少或不使用挂篮反复滑移、提升以及支架反复安装及拆除工序,以节约施工工期。在场地受限条件下采用挂篮拼装及主梁 1#

段现浇共用支架的方式,将挂篮杆件作为支架主要受力构件,不仅可以实现挂篮的一次性安装就位,大幅节约工期,并可大幅减少支架及支架基础工程数量,具有明显的成本优势。

3) 前支点挂篮的设计及安装是一个系统工程,需综合考虑施工现场条件、工期、安全、成本等众多因素,并据此进行不断优化以适应现场实际需求之后再进行有限元仿真分析以确保结构受力安全,方可做出符合现场实际需求的最优方案。

## 参考文献

- [1] 陈闯,王旭焱,王银辉.不同曲率下预应力斜墩曲线连续刚构桥施工过程中变形分析[J].科学技术与工程,2021,21(2):764-773.
- [2] 韦剑,肖雪.基于 Kriging 改进响应面的挂篮可靠度分析[J].科学技术与工程,2014,14(4):284-287.
- [3] 吴明威,陈林,刘冬冬,等.PC 斜拉桥大型前支点挂篮安装技术[J].中外公路,2017,37(1):102-105.
- [4] 周翔海,杜娟.汉江特大桥超宽超重牵索挂篮设计与施工关键技术[C]//2017(第六届)国际桥梁与隧道技术大会论文集.中国工程院土木、水利与建筑工程学部,上海市土木工程学会,同济大学土木工程学院,2017:90-94.
- [5] 卢玉荣,王胤彪,马存骥,等.海华大桥超宽前支点牵索挂篮安装关键技术[J].施工技术,2018,47(19):111-115.
- [6] 刘运红.汝郴高速赤石大桥牵索挂篮设计[J].江西建材,2014(21):174-176.
- [7] 张会昌,凌云锋,王运涛.梅溪河特大桥牵索挂篮高空拼装技术[J].公路交通科技(应用技术版),2010,6(9):134-137.
- [8] 吴晓杰.迫龙沟特大桥主梁牵索挂篮安全性验算与分析[J].工业安全与环保,2017,43(8):31-34.
- [9] 丁延书,罗浩,宋旭明,等.超大悬臂箱梁的施工挂篮构造设计及受力分析[J].建筑施工,2018,40(5):749-751.
- [10] 林旭.屈家庄连续刚构桥施工中的力学分析[D].石家庄:石家庄铁道大学,2018.
- [11] 叶清锋.连续刚构桥宽幅挂篮设计及优化研究[D].重庆:重庆交通大学,2019.
- [12] 李瑞祥.宽幅混凝土箱梁现浇支架受力性能及优化分析[D].长沙:长沙理工大学,2019.
- [13] 黄夏雨.彭湖高速特大桥现浇支架的受力计算及稳定性分析[J].工程建设与设计,2021(2):76-77.
- [14] 沈星辉.互通立交跨线箱梁支架设计及验算[J].价值工程,2015,34(14):104-110.
- [15] 刘武生.浅谈公路匝道桥现浇支架设计及施工[J].安徽建筑,2012,19(6):131-134,158.
- [16] 赵高锦,代攀,许鹏,等.高架桥梁临时支架受力特性与仿真分析[J].公路交通科技(应用技术版),2019,15(3):119-120,157.

## Key Technology of Front Fulcrum Hanging Basket of Cable-stayed Bridge under Limited Space Condition:

Taking Mysterious Valley Bridge of Lancang River In Jinghong City as an example

ZHANG Ping

(Yunnan Railway Group Co., LTD., Kunming 650118, China;

Civil Engineering College, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China)

**Abstract:** The front fulcrum cable hanging basket is widely used in long-span PC (prestressed concrete) cable-stayed bridges, but it is difficult to assemble and put in place under the condition of limited space in mountainous areas, and the problem of mutual interference with cable towers, main beams and stay cables is prominent. In order to solve the related problems of mysterious valley bridge of Lancang River, research on the structure design and installation method of hanging basket through the methods of structure adaptive optimization and finite element simulation analysis. The results show that the special-shaped hanging basket construction combined with hanging basket and 1 # section cast-in-site girder assembled shared stents scheme venues adaptable, guarantee the construction quality, safety, schedule, prestressed concrete cable-stayed bridge construction in the mountains of wide popularization value.

**Keywords:** restricted space; front fulcrum hanging basket; simulation design; installation